

УДК 553.411.071; 553.086; 553.2; 553.061.17

## «НОВОЕ» ЗОЛОТО В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЯХ НИЖНЕСЕЛЕМДЖИНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО УЗЛА (ПРИАМУРЬЕ)

© 2025 г. И. В. Кузнецова<sup>а, \*</sup>, П. П. Сафронов<sup>б, \*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт геологии и природопользования ДВО РАН,  
пер. Речной, 1, Благовещенск, 675000 Россия

<sup>б</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН  
проспект 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022 Россия

\*E-mail: kuzia67@mail.ru

\*\*E-mail: psafonov@mail.ru

Поступила в редакцию 22.03.2023 г.

После доработки 08.12.2023 г.

Принята к публикации 11.06.2024 г.

Установлено, что в коре выветривания и техногенных россыпях Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья новообразованное самородное золото присутствует как в породной матрице, ассоциирующей непосредственно с Au, так и на поверхности зерен благородного металла. В коре выветривания выявлено пленочное и изометричное Au на поверхности образцов самородного золота и пористое, сформировавшееся путем заполнения свободного пространства вмещающих рыхлых пород. Размер частиц от 0.2 до 3 мкм. Состав аутигенного золота — Au-Ag-Cu, Au-Su и химически чистый благородный металл (1000‰). В техногенных россыпях установлено пленочное, сфероидное, дендровидное, нитевидное, червеобразное, глобулярное и губчатое новообразованное золото. Размер частиц от 0.1 до 1 мкм. Состав золота — от многокомпонентного (Pb-Au-Hg-Sn), (Au-Pb-Hg-Ag), (Au-Pb-Hg), (Au-Hg-Ag), (Au-Hg) до химически чистого Au. Несмотря на различный состав, механизм формирования новообразованного Au в природных (корах выветривания) и техногенных объектах (отвалах россыпей), видимо, аналогичен. В процессе гипергенных преобразований происходит разложение минералов-концентраторов Au, высвобождение металлов и дальнейшее их осаждение. Геохимическими барьерами для осаждения и концентрации благородного металла являются сорбционные свойства вмещающей породы, а также частицы вновь образованных ультратонких кластеров самородного золота, ртути, свинца, меди, олова и их соединений. Роль восстановителя играет органический/неорганический углерод.

**Ключевые слова:** новообразованное, новое, аутигенное, «*in situ*» золото, тонкое золото, самородные металлы, кора выветривания, техногенные россыпи золота.

DOI: 10.31857/S0016777025010037, EDN: vczyei

### ВВЕДЕНИЕ

Феномен так называемого «нового» (аутигенного, «*in situ*») золота в месторождениях разного генезиса установлен достаточно давно (Петровская, 1941, 1973). Подобное золото выявлено в природных образованиях: в зоне окисления золоторудных месторождений (Альбов, 1980; Росляков, 1981; Сазонов и др., 2019<sub>1</sub>; Калинин и др. 2022), золотоносных корах выветривания (Петровская, Яблокова, 1974; Новгородова и др., 1995; Калинин и др., 2009; Kalinin et al.,

2018; 2019; Никифорова и др., 2020) и россыпях (Николаева, 1958; Яблокова, 1965; Неронский, Сафронов, 1988; Хазов и др. 2010; Баранников, Осовецкий, 2013; Shuster, Southam, 2015; Литвиненко, Шилина, 2017; Сокерин и др. 2023). Кроме того, новообразованное золото установлено в техногенных образованиях и различных отходах золотодобычи (Ковлеков, 2002; Наумов, Наумова, 2013; Кириллов и др. 2018; Хусаинова и др. 2020, 2021; Myagkaya et al., 2020; Сазонов и др. 2019<sub>2</sub>).

Процессы формирования нового золота еще не до конца понятны. В этой связи получение новых данных по морфологическим и химическим особенностям такого золота является *актуальной задачей*.

Как правило, аутигенное золото относится к классу так называемого тонкого ( $< 0.1$  мм). Надо отметить, что для рассматриваемого региона характерна достаточно высокая роль тонкого золота в общем балансе самородного благородного металла. В корях выветривания до 78% относится к Au размером  $< 12$  мкм (Кузнецова, Дементенко, 2023), в техногенных россыпях до 83% Au относится к тонкому  $< 0.1$  мм и субмикронному золоту (Кузнецова, 2011; Кузнецова и др., 2019).

В представленной работе основной акцент делается на изучении золота «*in situ*», как одной из составляющих тонкого самородного золота кор выветривания и техногенных россыпей Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья.

Цель исследования — определить морфологические и химические особенности «нового» золота в корях выветривания (КВ) и техногенных россыпях Нижнеселемджинского золотоносного узла (НЗУ) Приамурья.

Объекты исследования: образцы самородного золота, ряд из которых представляют собой тесные сростания благородного металла с тонкозернистыми силикатными породами, содержащими тонкое золото.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Крупнообъемные пробы для исследований были отобраны из коры выветривания по палеозойским гранитоидам (бассейн р. Татарка) (фиг. 1, точка 1), а также в техногенных россыпях НЗУ (бассейн р. Некля) (фиг. 1, точка 2).

Самородное золото в виде отдельных зерен и сростков выделялось по опубликованной методике (Моисеенко, 2007; Моисеенко В.Г., Моисеенко Н.В., 2012).

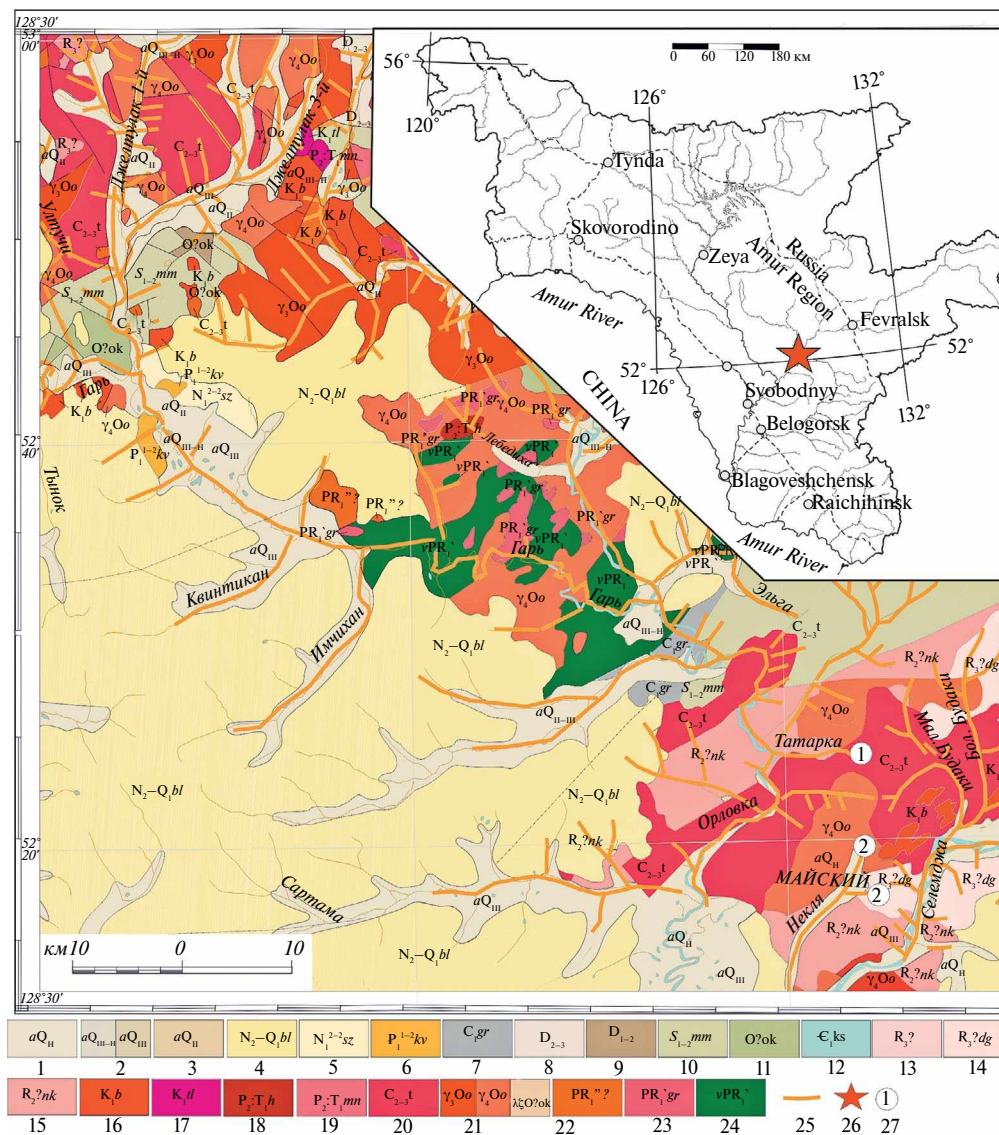
Исследования микроморфологии и элементного состава самородного золота и вмещающей его породы проводились с помощью метода аналитической сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Основная часть работ выполнена на электронном микроскопе «EVO 40XVP» (фирмы «Carl Zeiss», Германия), оснащенном системой энергодисперсионного рентгеновского анализа (ЭДА) INCA Energy (фирмы Oxford instruments, Великобритания), в ИБМ ДВО

РАН. Некоторые образцы золота и вмещающих пород были изучены на электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV (фирмы Jeol, Япония) в АЦ ИГиП ДВО РАН. Приведенные снимки получены во вторичных (SE) и в обратно-рассеянных электронах (BSE). Новообразованное золото весьма хрупкое, при полировке образцов оно часто деформируется, и теряется возможность установить его морфологические и химические особенности. Поэтому все приведенные анализы химического состава золота и ассоциирующих минеральных агрегатов получены с объемных зерен. И хотя полученные данные не могут считаться количественными, но для целей данного исследования вполне применимы, так как отражают входящие в минеральное вещество элементы и их соотношения. Некоторые золотины напылялись углеродом для создания токопроводящей пленки. Часть образцов не напылялась с целью оценки входящего в них углерода. При определении состава тонкой фракции золота использовалась ранее разработанная методика (Сафронов, 2011). Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ, при силе тока в режиме ЭДА 600 pA, в режиме микроскопирования SE — от 20 до 50 pA, в режиме BSE — от 100 до 300 pA в зависимости от типа образцов.

## КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Нижнеселемджинский золотоносный узел относится к центральной части Зее-Селемджинского золотоносного района (Приамурье) (Мельников, Полеванов, 1995), который приурочен к Мамынскому выступу Буреинского срединного массива. Выступ охватывает междуречье рек Зеи и Селемджи, к югу от хребта Джагды. Здесь преимущественное развитие имеют палеозойские гранитоиды, среди которых сохранились реликты складчатых образований архея, рифея, кембрия, силура и среднего девона. Вместе с тем в пределах выступа развиты и мезозойские (преимущественно меловые) интрузивные и вулканические образования (Геологическая карта, 2001) (фиг. 1).

Стратифицированные образования Нижнеселемджинского золотоносного узла слагают крупную антиклинальную структуру северо-восточного простиранья, в ядре которой обнажены сланцы и метапесчаники позднепротерозойского-раннекембрийского возраста, прорванные интрузивами гранитоидов ордовика, карбона и мела, а на флангах — песчаники с прослоями



**Фиг. 1.** Схематическая карта: географическое положение (отмечено на врезке), геологическое строение объекта исследований с использованием (Геологическая карта..., 2001). Обозначения: *голоцен*: 1 – галечники, пески, глины, супеси; *неоплейстоцен*: 2 – суглинки, глины, пески, галечники, алевроиты; 3 – глины, пески, галечники; *неоген-квартер*: 4 – алевроиты, глины, пески, галечники (белогорская свита); *неоген*: 5 – пески с гравием, галечники, глины каолиновые (сазанковская свита); *палеоген*: 6 – глины, алевроиты с прослоями бурого угля, галечники и туфы (кивдинская свита); *меловая система*: *каменноугольная система*: 7 – песчаники, алевролиты, филлиты, вулканиты, известняки, туфоконгломераты (граматухинская свита); *девонская система*: 8 – песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, туфоалевролиты, туффиты (орловкинская толща); 9 – алевролиты, известняки, глинистые сланцы, песчаники, конгломераты, гравелиты (полуночинская толща); *силурийская система*: 10 – песчаники, туфопесчаники, алевролиты, туфоалевролиты, туффиты, гравелиты, брекчии, дресвяники (мамынская свита); *ордовикская система*: 11 – риодациты, дациты, риолиты, андезиты, их туфы, лавобрекчии дацитов и риолитов (октябрьская толща); *кембрийская система*: 12 – алевролиты, известняки, мергели, доломиты (косматинская толща); *рифей (?)*: 13 – известняки мраморизованные, метагравелиты, метаконгломераты (нерасчлененная толща); 14 – метапесчаники известковистые, сланцы серицит-кварцевые и актинолит-хлоритовые, линзы мраморизованных известняков (дагмарская толща); 15 – сланцы биотит-кварцевые, кварцево-серицитовые с прослоями метапесчаников сланцеватых, известковистых (неклинская толща). Интрузивные образования: *меловые*: 16 – граниты, гранит-порфиры, гранодиориты, кварцевые монцитониты, диориты (буриндинский комплекс); 17 – андезиты, диорит-порфиры, дациты, (талданский комплекс); *позднепермские или раннепермские*: 18 – сиениты, граносиениты, кварцевые монцитониты (харинский комплекс); 19 – риолиты (манегрский комплекс); *палеозой*: 20 – граниты, лейкограниты, гранодиориты, кварцевые диориты (тырмо-буреинский комплекс); 21 – а) лейкограниты, граниты, гранодиориты; б) граносиениты, кварцевые диориты; в) трахиориолиты, трахириодациты, риодациты (октябрьский комплекс); *протерозой*: 22 – граниты, субщелочные граниты, гранодиориты; 23 – кварцевые и гнейсовидные диориты, граниты, плагиограниты и гранодиориты (гаринский комплекс); 24 – метагаббро, габбро, габбродиабазы; 25 – современные россыпи золота; 26 – местоположение объекта исследований; 27 – точки отбора пробы.

конгломератов, гравелитов и алевролитов силурийского возраста. В пределах НЗУ установлены проявления золота, серебра, свинца, олова, ниобия и других элементов.

Вся рассматриваемая территория характеризуется россыпной золотеносностью. Разработка россыпей ведется с начала прошлого века. Источниками самородного золота являются маломощные кварцевые жилы в осадочных породах, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации, и продукты химического выветривания коренных пород.

На сегодняшний день большая часть месторождений отработана, но продолжается эксплуатация техногенных россыпей золота.

Более подробно геологические особенности и минеральный состав кор выветривания и техногенных россыпей рассматриваемого региона представлены в (Кузнецова, 2011; Сафронов, Кузнецова, 2017; Кузнецова и др., 2019; Кузнецова, Сафронов, 2021; Кузнецова, Дементенко, 2023).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Коры выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья*

Разрез коры выветривания (сверху вниз) представлен алевролитом-глинисто-песчаным и кварц-гидрослюдисто-каолиновым слоями. В КВ по палеозойским гранитоидам НЗУ золотоносной является кварц-гидрослюдисто-каолиновая зона. Из рудных минералов в тяжелой фракции присутствуют (в порядке убывания) ильменит, магнетит, мартит, пирит, циркон, сфен, шеелит, галенит, касситерит, монацит, халькозин, рутил, ковеллин и золото.

Морфология самородного золота достаточно разнообразна. Почти 2/3 рассмотренных зерен однородного строения, частично окатанные, практически без включений. Проба такого золота 802–844‰, вероятно, оно относится к эндогенному. Часть золота представляет собой агрегаты из сросшихся зерен Au различной морфологии и пробы (фиг. 2–4), но в целом оно более химически чистое (870–990‰) и, вероятно, имеет гипергенное происхождение.

Поверхность зерен золота нередко покрыта более высокопробными тончайшими пластинами (фиг. 2, 3). Также на поверхности более низкопробной золотины (860–863‰)

диагностированы пластины медистого золота (фиг. 2, табл. 1, сп. 2, 3).

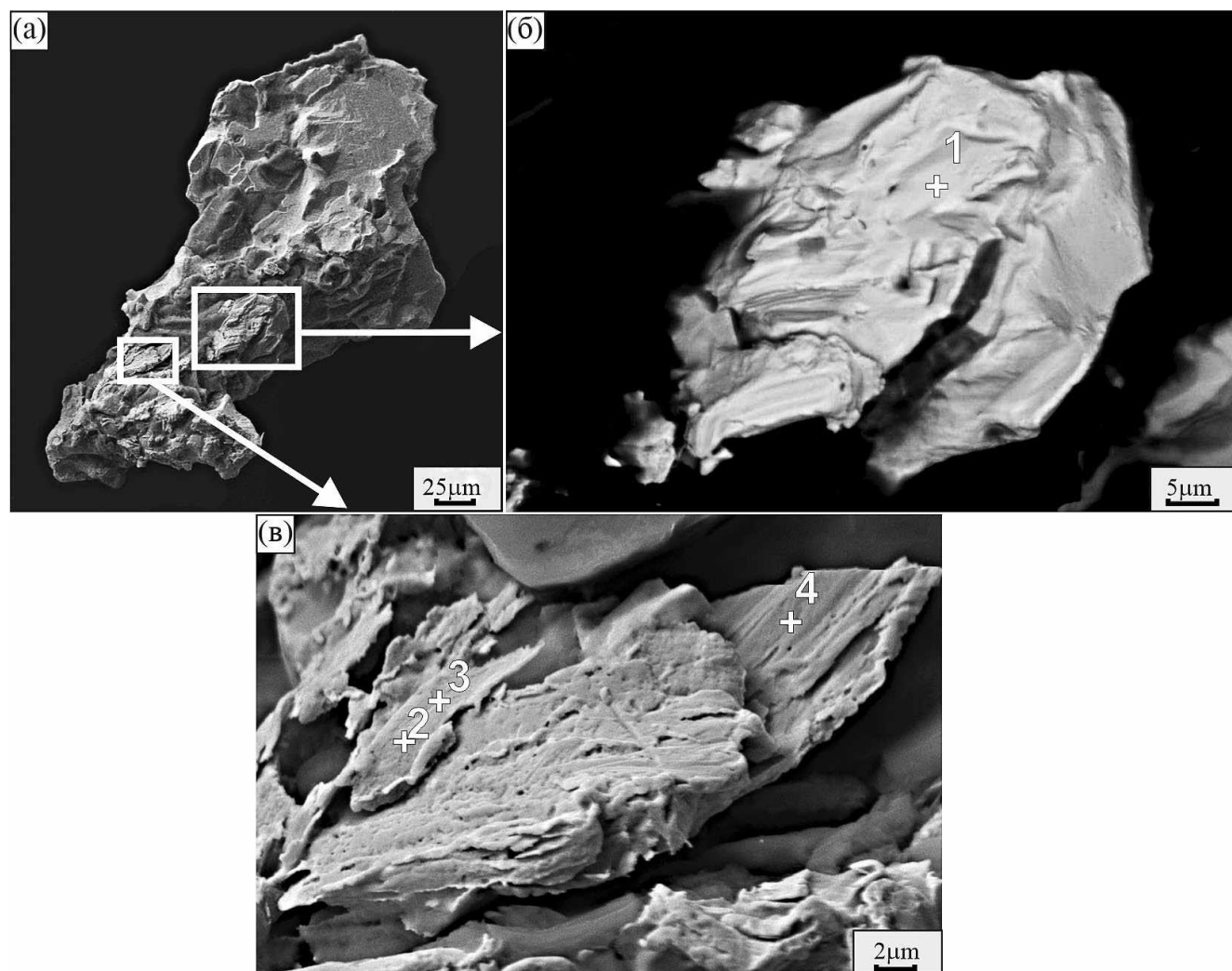
Иногда тонкопластинчатые образования представляют собой химически чистое золото — 1000‰ (фиг. 3, сп. 1–5), с многочисленными кавернами, заполненными высокоуглеродистой алюмосиликатно-железистой минеральной массой (фиг. 3, табл. 2, сп. 6–7).

Особенно интересны образцы с ажурной микроструктурой (фиг. 4). Золотина состоит из множества тонких листоватых (фиг. 4в, г,  $Au_{пл}$ ) и глобулярных выделений, некоторые из которых имеют гипидиоморфный облик (фиг. 4в, г,  $Au_{сф}$ ). Состав тонкопластинчатых образований отвечает медистому золоту довольно высокой пробы ~ 930–970‰ (табл. 3, сп. 2–7). По периферии этих пленок (фиг. 4в) и на их поверхности (фиг. 4г) установлены многочисленные сфероидальные образования Au ( $Au_{сф}$ ). Их размер составляет ~ 0.2–1.0 мкм. Есть единичные экземпляры, размеры которых достигают ~ 2–3 мкм. Сфероидные частицы характеризуются более высокой пробой 985–992‰ и не содержат серебра (фиг. 4в, г, табл. 3, сп. 1, 8).

### *Техногенные россыпи Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья*

Техногенные россыпи Нижнеселемджинского золотоносного узла характеризуются преобладанием в тяжелой фракции (в порядке убывания): ильменита, самородного свинца, монацита, оксидов и гидроксидов Fe, галенита, магнетита, циркона, ртути и золота (Кузнецова, 2011; Сафронов, Кузнецова, 2017). Самородное золото техногенных россыпей НЗУ представляет собой конгломераты из золотины различной морфологии и пробы, сцементированных между собой тонкодисперсной полиминеральной матрицей сложного состава, а в некоторых случаях и амальгамой золота. В агрегатах, цементирующих золотины, установлены следующие минералы (по частоте встречаемости): каолинит, галлуазит, хлорит, серицит, гетит, лимонит, кварц, адуляр, пирит, гидрогетит, романешит, также встречаются как самородный свинец, так и его соединения: оксиды и гидроксиды Pb (сурик, массикот), сульфаты (англезит) и карбонаты Pb (церуссит, фосгенит), хлориды Pb (котунит, менипит), фосфаты (пироморфит) и сульфиды (галенит) и ряд др. (Сафронов, Кузнецова, 2017; Кузнецова и др., 2019).

В одном из образцов (фиг. 5а) в агрегате глинистых минералов установлены более мелкие



**Фиг. 2.** Зерно самородного золота из КВ НЗУ (а, б), с высокопробными аутигенными тонкопластинчатыми агрегатами (в). Фото (а) и (в) в SE; (б) в BSE.

**Таблица 1.** Состав самородного золота (фиг. 2б, в, спектры 1 и 4) и пленочных выделений на нем (фиг. 2в, спектры 2 и 3), мас. %

Спектр	Cu	Ag	Au	Сумма
1	—	13.66	86.34	100.00
2	1.25	9.73	89.02	100.00
3	1.27	6.52	92.21	100.00
4	—	13.98	86.02	100.00

Примечание. — содержание ниже предела обнаружения.

частицы золота (фиг. 5б–д). Их размер колеблется от 0.1 до ~ 0.6 мкм, и только единичные экземпляры достигают ~ 1 мкм.

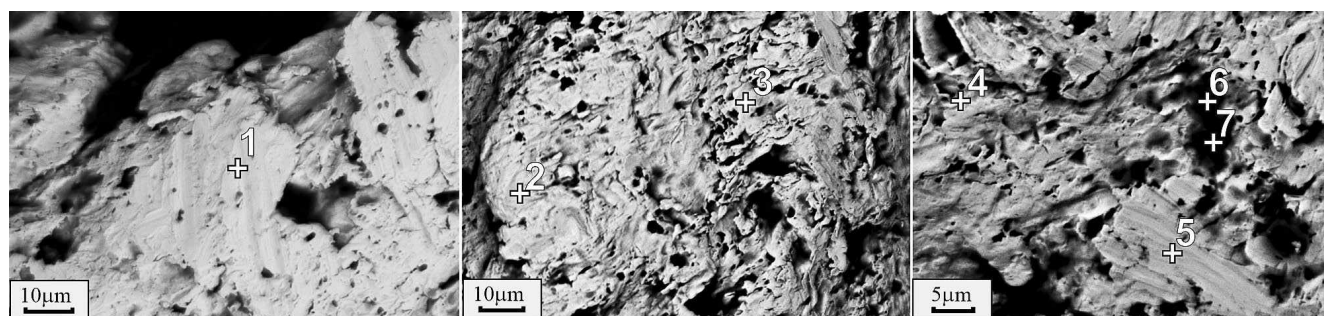
Состав минерального агрегата, ассоциирующего с самородным золотом, Fe-Mn-оксидно-гидроксидно-алюмосиликатный с примесью

углеродистого вещества (табл. 4). В составе этой массы зафиксированы Au, Hg, Pb, Sn (фиг. 5в; табл. 4, сп. 1–6).

Сферические частицы золота, выявленные в нерудном минеральном агрегате, соответствуют (без учета вклада матрицы) химически чистому золоту, т.е. их проба равна 1000‰ (фиг. 5г, е, сп. 7). Помимо этих частиц установлено невидимое СЭМ ультратонкое свинцово-ртутистое золото (фиг. 5д, табл. 4, сп. 12) и видимое в виде светлых сгущений микрозолото того же элементного состава (фиг. 5д, табл. 4, сп. 8–11).

Новообразованное золото в техногенных россыпях установлено также на поверхности зерен самородного Au. Состав такого аутигенного золота варьирует.





**Фиг. 3.** Химически чистые (1000‰) аутигенные тонкопластинчатые образования (спектры 1–5), на поверхности самородного золота из КВ НЗУ, с кавернами, заполненными высокоуглеродистыми алюмосиликатно-железистыми образованиями (спектры 6, 7). Снято в BSE.

**Таблица 2.** Состав высокоуглеродистых алюмосиликатно-железистых образований (фиг. 3, спектр 6 и 7), заполняющих каверны между новообразованными пленками Au на поверхности золотины (фиг. 3, спектр 1–5), мас. %

Спектр	Cu	Fe	Ti	Ca	K	Cl	Si	Al	Mg	Na	O	C
6	-	2.97	0.44	4.31	0.65	1.77	8.11	4.17	2.82	2.02	39.97	32.77
7	0.83	2.50	-	0.79	1.45	1.19	5.93	4.32	0.72	2.04	35.48	44.75

Примечание. – состав спектров 1–5 не приводится, так как соответствует 100% Au.

Встречаются новообразования золота как с высоким содержанием свинца (фиг. 6а, табл. 5, сп. 1), так и с низким (фиг. 6б, табл. 5, сп. 2, 3; фиг. 7, табл. 5).

Свинец присутствует в составе аутигенного золота (фиг. 6, табл. 5; фиг. 7, табл. 5, сп. 1, сп. 2), в ассоциирующей с золотом породе (фиг. 7, табл. 5, сп. 3, 4), и в виде англита на поверхности благородного металла (фиг. 11, табл. 5, сп. 4).

Также встречается глобулярное аутигенное ртутисто-свинцовое золото (фиг. 7, табл. 5, сп. 1, 2) с включениями породы алюмосиликатных минералов, иногда содержащих углерод (сп. 3, 4).

Часть новообразованного золота только амальгамированное (фиг. 8, табл. 5). Ртутистое золото «сращивает» между собой зерна. Нередко в составе аутигенного золота присутствует в том или ином виде углерод (фиг. 8, табл. 5).

Иногда новое Au отлагается на поверхности зерен в виде тонких нитевидных образований (фиг. 9). Длина их составляет от нескольких микрометров до 20 мкм и более. Толщина варьирует от первых десятков до десятых долей микрометра.

Значительная часть нитевидного золота – это ртутистое высокопробное золото (>900 ‰) (фиг. 9ж). Есть также участки с нитевидным золотом, состоящим из химически чистого Au

(1000 ‰). Рядом с «клубком» чистого нитевидного золота находится почти округлое выделение беспримесного золота (размером ~ 4–6 мкм) (фиг. 9е).

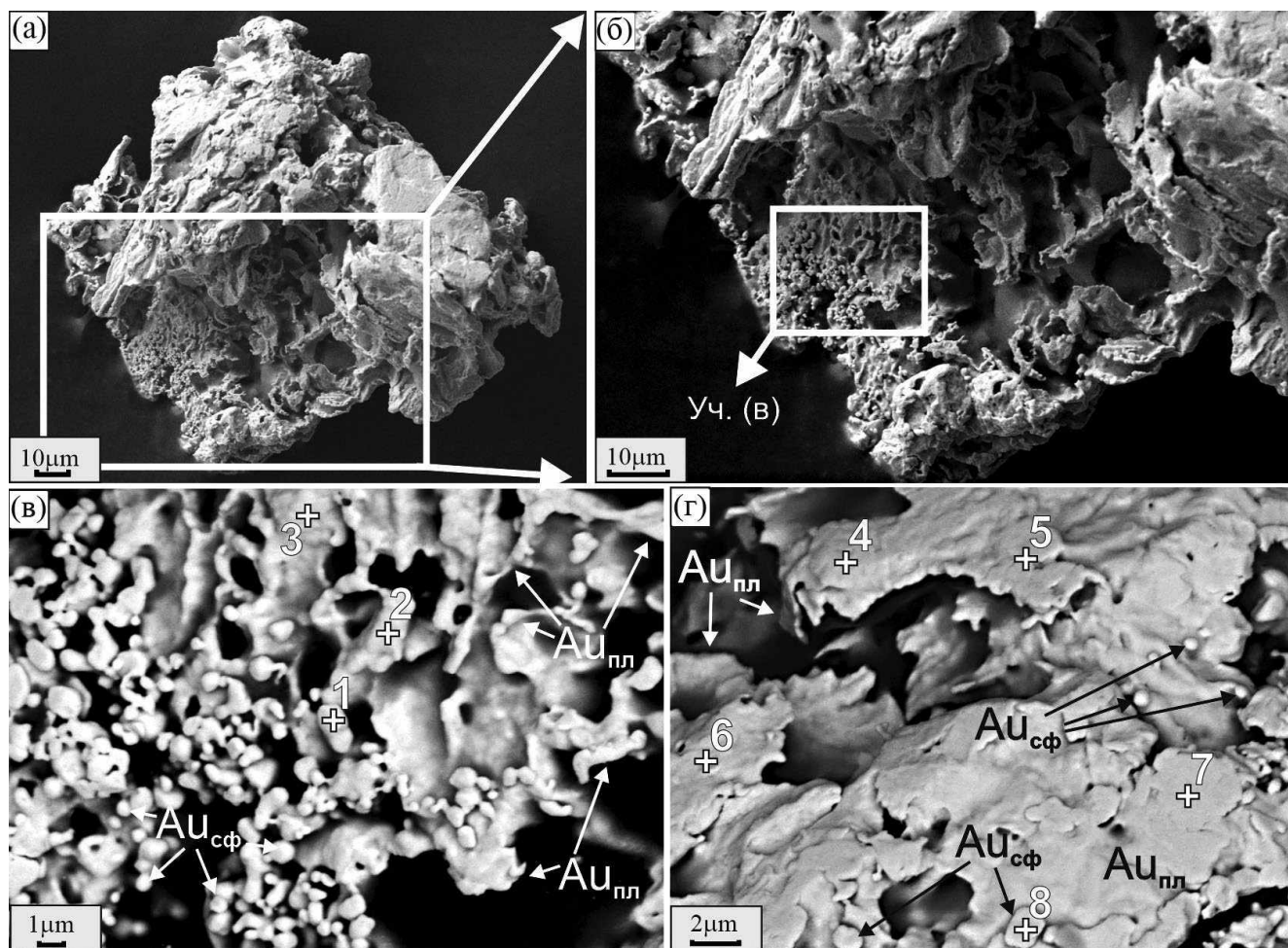
В то же время на поверхности некоторых золотинок установлено высокопробное (до 1000‰) новообразованное золото, где оно представлено глобулярными, губчатыми и тонкопластинчатыми образованиями (фиг. 10, фиг. 11, табл. 5).

Новообразованное губчатое золото неоднородно по составу (фиг. 10). Есть плотные выделения чистого золота (фиг. 10, табл. 5, сп. 1, 2). Некоторые из них с ртутью – до 6 мас. % (табл. 5, сп. 4). Часть образований содержат свинец ~ 4% (табл. 5, сп. 5). На ЭДА-спектрах, полученных с губчатого золота, присутствуют линии азота (до 3%) и углерода (~ 4–5%) (табл. 5, сп. 1, 2, 4).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Детальные исследования самородного золота из коры выветривания и отработанных россыпей Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья, позволили установить наличие новообразованного благородного металла.

*Морфология* изученных образцов однозначно свидетельствует об аутигенности самородного золота. Новое золото из коры выветривания



Фиг. 4. Зерно самородного золота (а, б), состоящее (в, г) из аутигенных тонкопластинчатых образований ( $Au_{пл}$ ), на поверхности которых обнаружены выделения сфероидального золота ( $Au_{сф}$ ). Фото (а, б) в SE; (в, г) в BSE.

Таблица 3. Состав пластинчатых (фиг. 4в, г спектр 2–7) и сфероидальных (фиг. 4в, г спектр 1, 8) выделений золота, мас. %

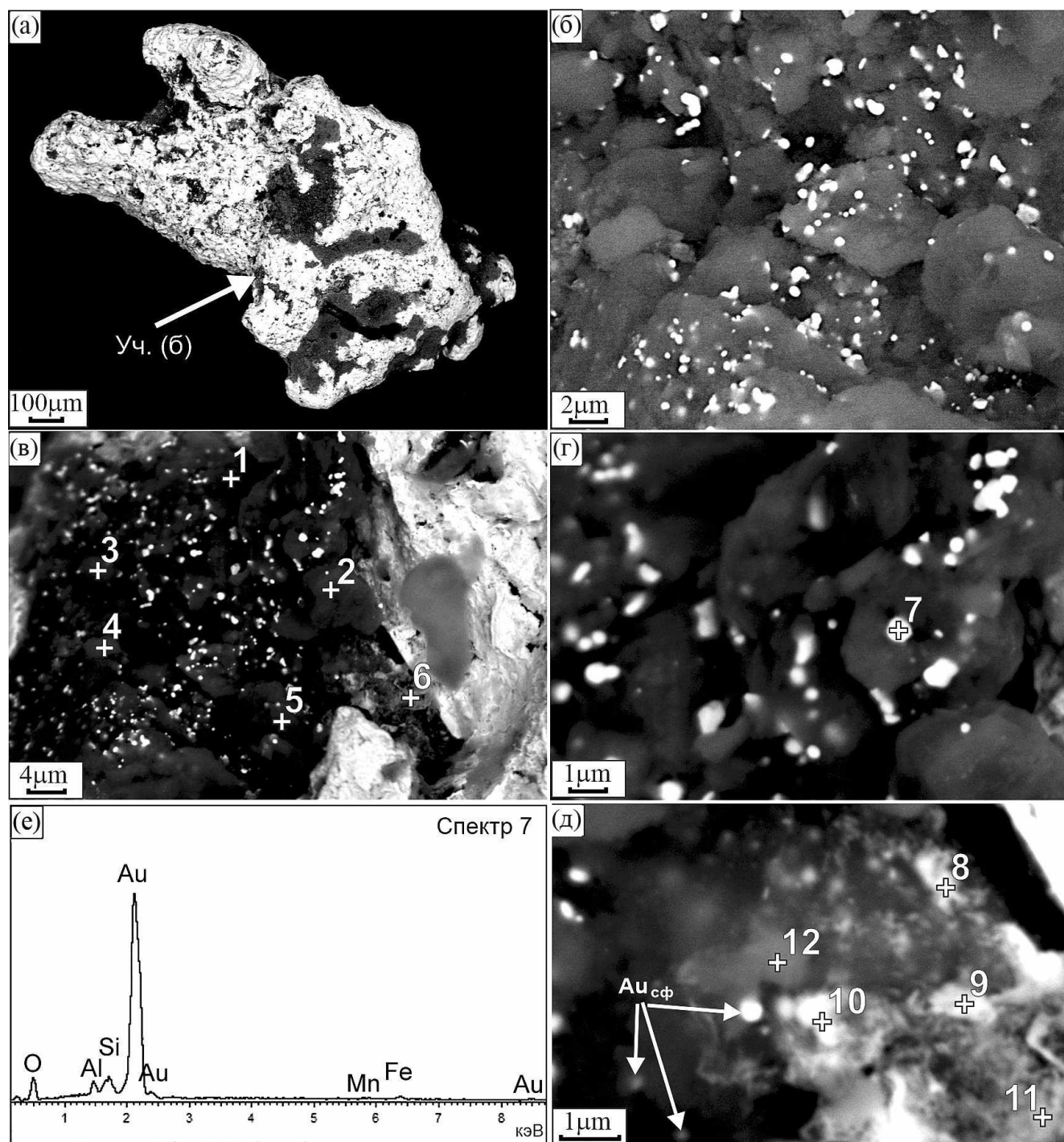
Спектр	Cu	Ag	Au
1	1.50	–	98.50
2	1.45	4.87	93.69
3	1.66	1.48	96.87
4	1.89	5.19	92.92
5	1.69	3.04	95.27
6	2.04	3.87	94.09
7	1.08	2.04	96.88
8	0.81	–	99.19

и из техногенных россыпей имеет сходные черты и характеризуется разнообразием морфологических форм (пластинчатое, сфероидное, губчатое, глобулярное, палочковидное, нитевидное) (фиг. 2–11) (Петровская, 1941, 1973; Яблокова,

1965). Часть золота образовалась на поверхности зерен самородного Au. Другая часть золота, вероятно, формировалась непосредственно в порах или пустотах рыхлых пород (фиг. 4, 5) (Петровская, Яблокова, 1974; Новгорова и др., 1995; Сокерин и др., 2023).

Размер частиц аутигенного золота, задокументированного при помощи СЭМ, варьируется от десятых долей микрона (фиг. 5, 9) до нескольких микрометров и более.

Наименьшие (0.1–0.6 мкм) частицы Au установлены в углеродисто-глинистых агрегатах, ассоциирующих с самородным золотом техногенных россыпей. Вероятно, существуют также и наноразмерные частицы (<0.1 мкм), которые на СЭМ не индивидуализируются, но фиксируются ЭДА и имеют аналогичный состав с видимыми под микроскопом золото-свинцово-ртутными образованиями (на снимке последние проявлены в виде светлых сгущений) (фиг. 5, табл. 4).



**Фиг. 5.** Самородное золото (а) с включениями агрегатов глинистых материалов, содержащими тонкие и ультратонкие частицы золота (б–д). Показаны точки проведенного ЭДА. Приведен ЭДА-спектр с составом одной из частиц химически чистого Au (г, е, спектр 7) (здесь электронным пучком частично захватывается минеральная матрица). Фото в BSE.

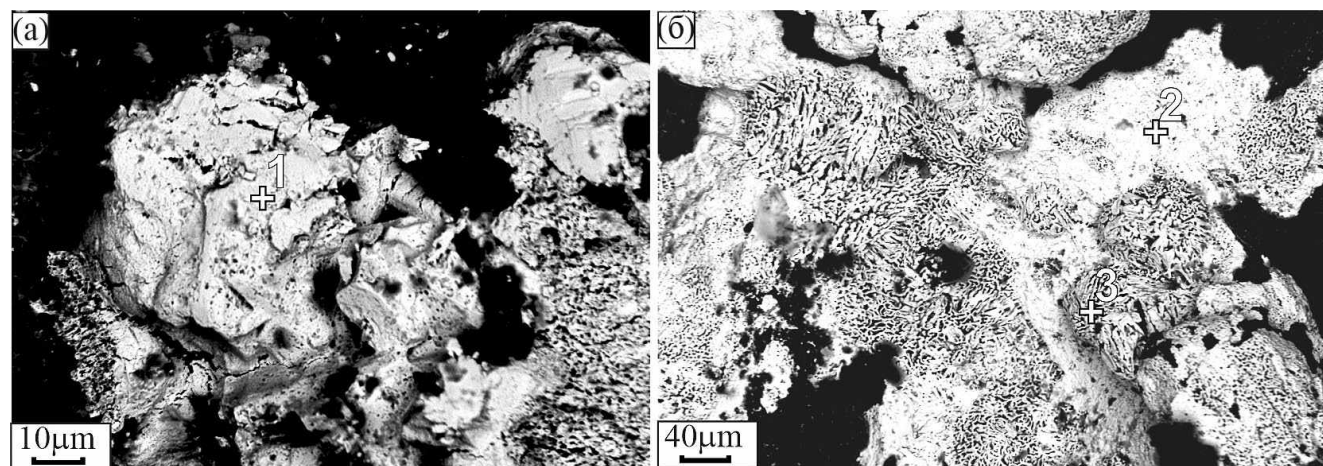
*Химический состав* новообразованного золота отличается широкими вариациями как в коре выветривания, так и в россыпях. Связи между составом Au и его морфологией не установлено.

Аутигенное золото КВ выявлено двух видов. Первое (пластинчатое) отлагается на поверхности, вероятно гипогенных золотин Ag-Au состава, более низкой пробы (860–863‰).



**Таблица 4.** Состав самородного золота и алюмосиликатного агрегата, вмещающего ультратонкое золото (фиг. 5в, д), мас. %

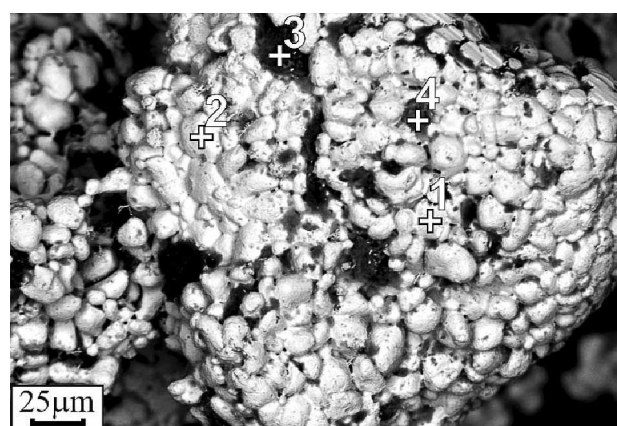
Элемент	Спектр										
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12
C	—	5.19	5.21	3.54	5.27	3.61	4.81	6.72	7.27	12.34	3.94
O	36.19	38.77	48.73	44.02	40.67	21.16	18.07	19.16	20.03	17.1	25.23
Na	—	0.3	0.37	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	0.63	0.31	—	0.31	—	—	—	—	—	—
Al	14.89	10.28	12.61	10.46	11.85	4.15	5.43	4.58	6.71	4.34	10.7
Si	14.33	10.83	13.31	10.44	11.22	5.35	5	4.61	6.7	5.08	10.57
P	—	0.22	0.24	0.39	0.29	—	—	—	—	—	—
S	—	—	0.21	0.33	0.02	—	—	—	—	—	—
Cl	0.56	0.44	0.64	0.55	0.36	0.78	0.77	0.98	0.88	0.89	0.65
K	0.95	2.29	1.12	0.63	1.09	0.9	0.53	0.36	0.81	1.41	1.12
Ca	0.37	0.81	0.42	0.73	0.65	0.1	0.19	0.41	0.12	0.3	0.42
Ti	1.36	0.45	0.23	0.44	0.5	0.72	0.64	0.4	0.37	1.11	0.82
Mn	3.49	3.5	3.82	2.61	3.06	1.93	2.25	1.85	2.13	3.3	4.35
Fe	5.44	18.1	5.19	11.39	19.03	2.86	3.61	3.94	6.72	5.86	15.79
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25
Sn	0.86	—	—	—	—	10.45	2.66	5.14	2.41	5.09	1.11
Au	13.72	4.79	5.57	11.47	3.43	17.5	16.99	18.33	18.36	14.02	16.11
Hg	2.41	2.15	0.96	1.05	0.93	3.01	4.9	3.89	5.67	4.47	2.45
Pb	5.43	1.25	1.06	1.95	1.32	27.48	34.15	29.63	21.82	24.69	6.49

**Фиг. 6.** Свинцово-рутутное новообразованное золото: а – низкопробные пленки с высоким содержанием свинца; б – губчатое аутигенное золото с низким содержанием свинца. Состав приведен в табл. 5. Фото в BSE.

Такое новое золото имеет пробу от 890 до 922‰, в качестве примеси может содержать Cu и Ag (фиг. 12) (Калинин и др., 2009; 2022; Новгорова и др., 1995; Осовецкий, 2012; Hough et al., 2008). Часть пленочных образований, связанных с высокоуглеродистыми алюмосиликатно-железистыми образованиями, химически однородны, их проба 1000‰.

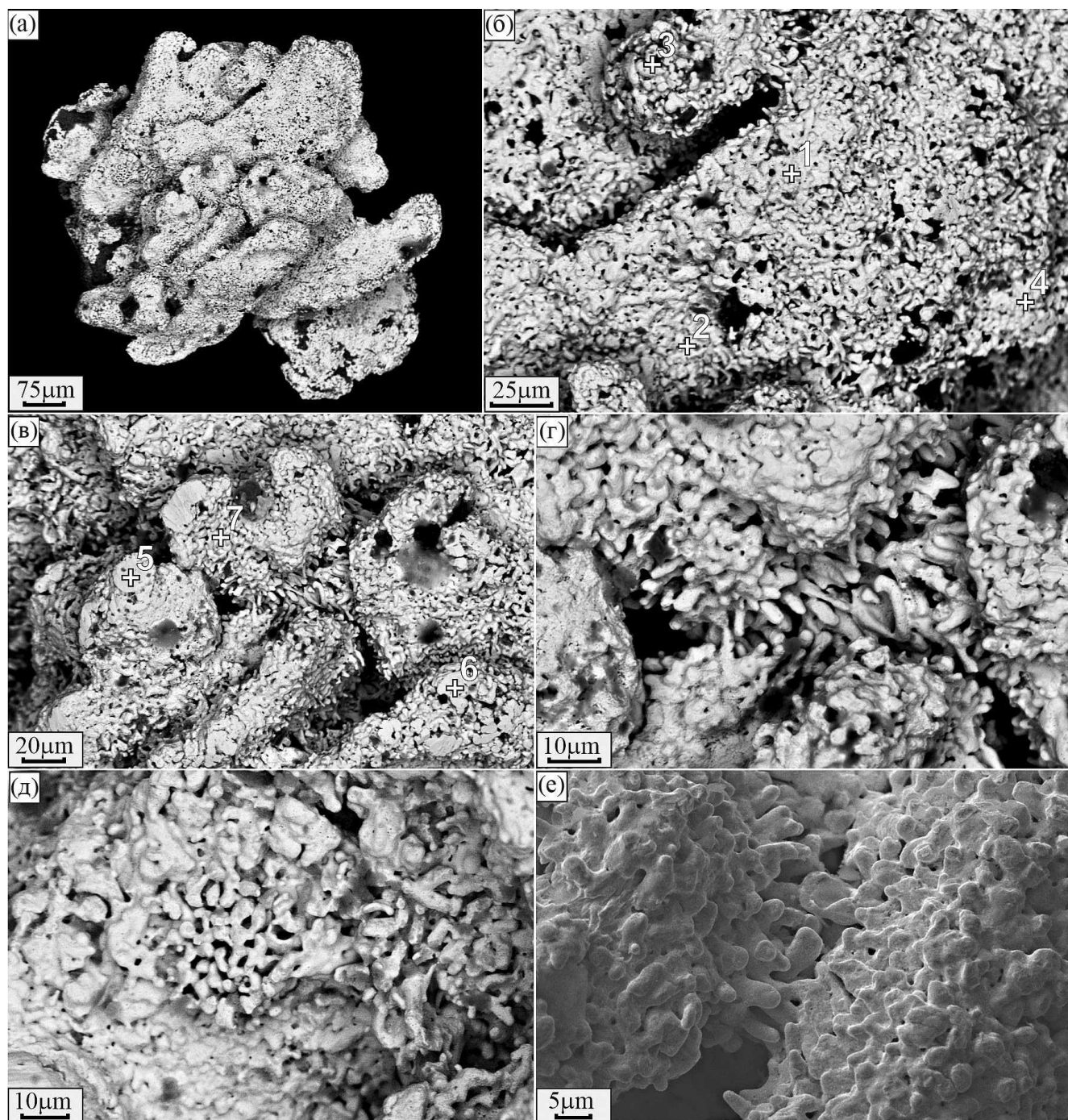
Таблица 5. Состав самородного золота и минеральных включений в нем (фиг. 6–8, 10, 11), мас. %

№ фигуры	Спектр	Элемент																
		C	N	O	S	Mg	Al	Si	Cl	K	Ti	Mn	Fe	As	Ag	Au	Hg	Pb
6	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.86	65.09	13.55	20.5
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92.04	6.07	1.89
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	91.18	2.55	6.27
7	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88.62	9	2.38
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	84.35	12.21	3.44
	3	7.87	—	39.7	—	—	15.46	16.5	—	—	0.64	0.46	7.98	0.17	—	1.1	1.37	8.75
	4	—	—	26.68	—	0.51	10.11	14.69	0.96	0.85	—	0.91	16.74	—	—	2.51	—	26.04
	5	—	—	54.63	—	—	20.17	21.66	—	0.42	1.03	—	2.09	—	—	—	—	—
8	1	11.62	—	7.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	71.33	10.03	—
	2	4.55	—	1.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85.32	8.83	—
	3	5.25	3.25	0.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	83.79	7.22	—
	4	15.68	—	6.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77.69	—	—
	5	13.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77.64	8.74	—
	6	17.28	—	9.96	—	—	—	—	—	—	—	—	1.51	—	2.36	56.34	12.55	—
	7	11.35	—	0.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79.9	7.8	—
10	1	4.32	3.38	4.66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	87.64	—	—
	2	4.72	3.29	8.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	83.89	—	—
	3	5.28	—	47.3	—	—	14.79	17.23	—	—	6.34	—	7.11	—	—	—	—	1.95
	4	3.66	3.13	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77.97	5.04	—
	5	4.83	—	11.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80.04	—	3.33
11	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—
	4	—	—	18.05	8.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.46	—	60.82
	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—
	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—
	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—



Фиг. 7. Глобулярное аутигенное золото (состав показан в табл. 5). Фото в BSE.

Второе аутигенное золото (ажурное), вероятно, сформировалось непосредственно в коре выветривания. Морфологически оно напоминает так называемое «горчичное» золото, но отличается по цвету, составу и хрупкости (Гамянин и др., 1987; Некрасов, 1991). Оно состоит из золота, видимо двух генераций, различающихся по форме и составу: тонкопластинчатое Au-Ag-Cu (930–970‰) и сфероидное Au-Cu (985–992‰) (фиг. 12). Отсутствие в сфероидных образованиях серебра можно было бы объяснить выщелачиванием в результате выветривания. Однако факт нахождения сфероидов на поверхности пленочных образований золотины и различие составов свидетельствуют о более поздней их кристаллизации.



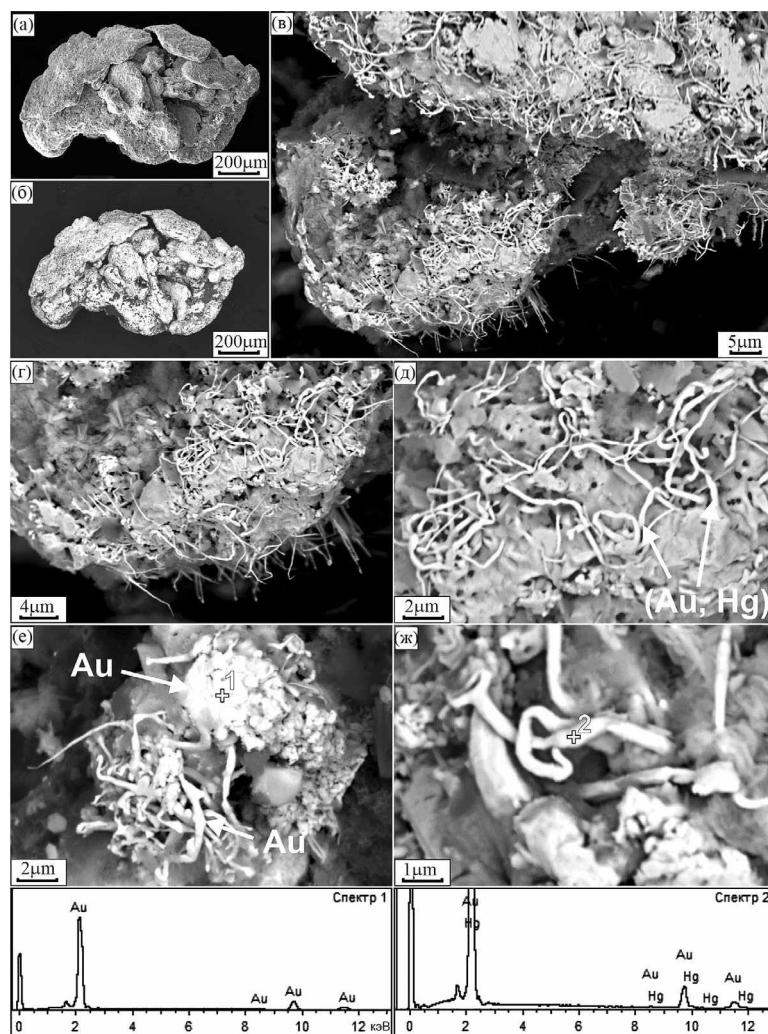
**Фиг. 8.** Губчатое ртутное золото, состоящее из отдельных палочковидных и пластинчатых индивидов, покрывающее поверхность самородного золота: а — общий вид; б–е — разные участки при разных увеличениях. Состав приведен в табл. 5. Фото а–д в BSE, е — в SE.

Отличительной чертой нового золота КВ является наличие в составе  $\text{Cu}$ , что, вероятно, объясняется присутствием в составе отложений КВ минералов меди (ковелин и халькозин).

В техногенных россыпях Нижнеселемджинского золотоносного узла новообразованное  $\text{Au}$  установлено как на поверхности самих образцов

самородного золота (фиг. 9–14), так и в минеральной смеси, цементирующей зерна благородного металла (фиг. 6–8).

В большинстве своем ассоциирующие с золотом породы представляют собой тонкодисперсную смесь глинистых минералов, а также глинистых и  $\text{Fe-Mn}$ -оксидных и гидроксидных минералов,



**Фиг. 9.** Аутигенное золото на поверхности одного из образцов (а, б); участки образца при разных увеличениях (в–ж); е – новообразованное высокопробное (1000‰) золото (спектр 1), ж – нитевидное ртутистое (спектр 2). Ниже приведены соответствующие ЭДА-спектры. Фото а – в SE, б–ж в BSE.

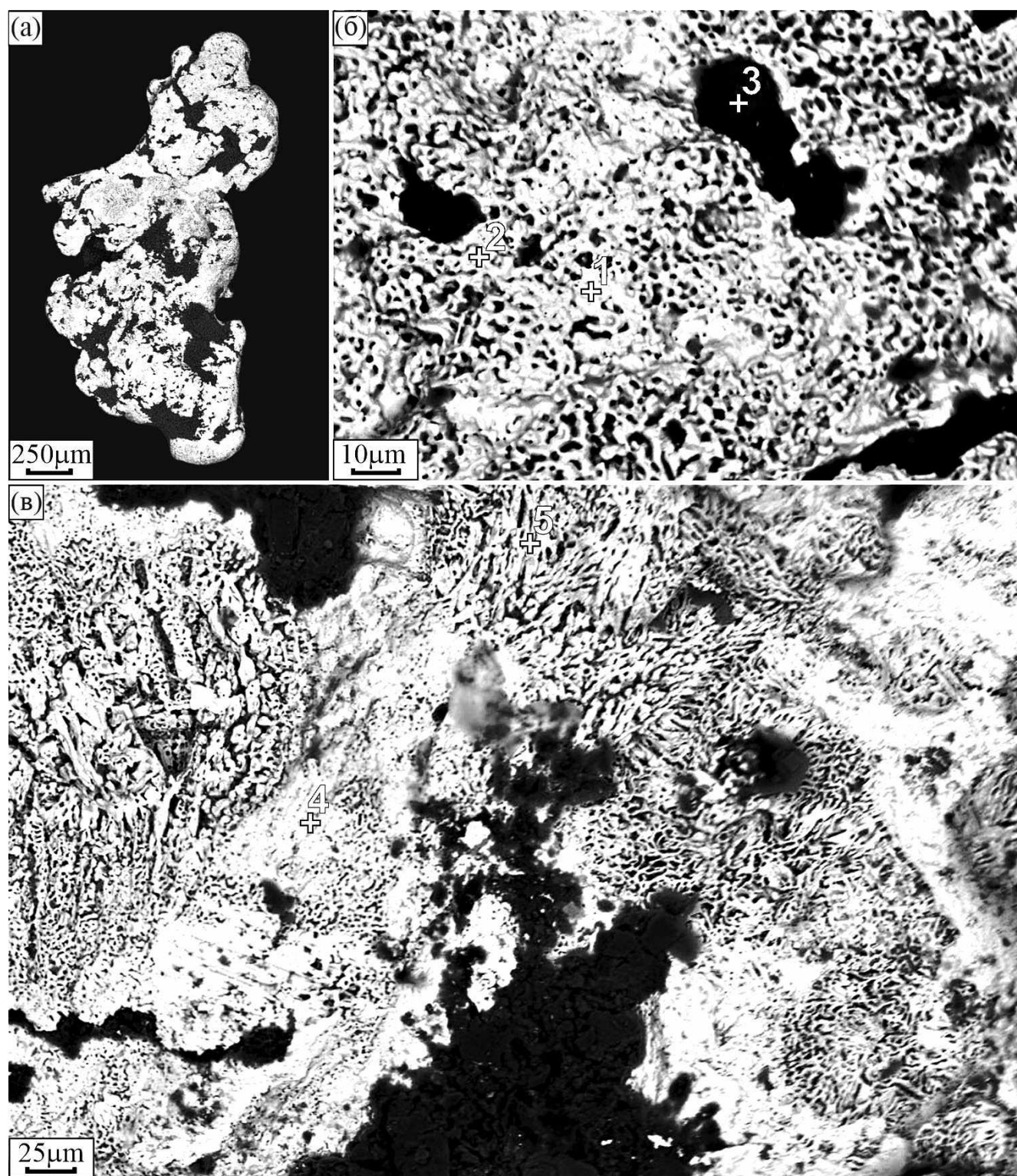
характерных для зоны гипергенеза (Hough et. al., 2011; Vishitia et. al., 2015; Anand, Salama, 2019). Рудные элементы (Au, Pb, Sn, Fe, As и др.), присутствующие в породе, – результат разрушения соответствующих минералов, зависит от химического состава растворов, дренирующих техногенные россыпи. А наличие ртути характерно для отвалов россыпной золотодобычи этого района (Кузнецова; 2011).

В железомарганцевой алюмосиликатной минеральной смеси, ассоциирующей с самородным золотом, установлены видимые образования практически чистого и свинцово-ртутистого Au размером от десятых долей микрона и невидимые под СЭМ (фиг. 7), но фиксируемые ЭДА кластеры из Au, Au-Ag и соединений Au-Hg, Au-Hg-Ag, Au-Hg-Pb, Au-Hg-Pb-Sn составов

(фиг. 13) (Сафронов, Кузнецова; 2017). Подобные частицы могут быть активными центрами зарождения и роста Au во вмещающих породах. Вероятно, происходит срастание этих кластеров золота и его соединений в ультратонкие, а затем и микрометровые образования благородного металла. При этом формируются как химически чистые видимые сфероиды самородного золота, так и соединения Au с рядом элементов – Hg, Pb, Sn различных вариаций (фиг. 13). Возможно, высокопробное ультратонкое Au образовалось на последних стадиях минералообразования, а свинцово-ртутистое золото кристаллизовалось еще позднее. Однако не исключено, что эти процессы идут одновременно.

Из примесей в новом золоте техногенных россыпей наиболее часто встречаются Hg, Pb, Ag, Sn



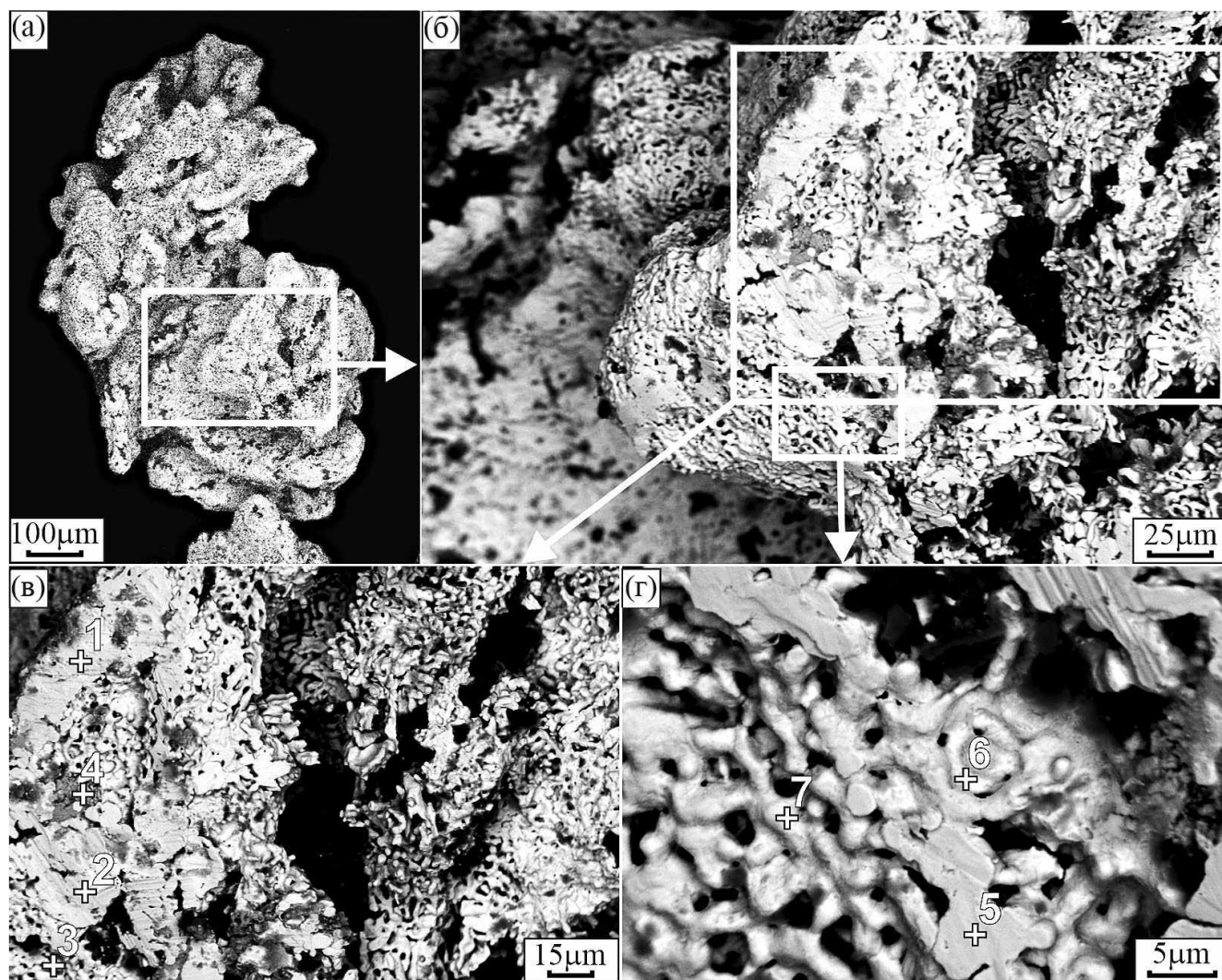


Фиг. 10. Новообразованное высокопробное губчатое самородное золото: а – общий вид образца; б, в – участки при разных увеличениях. Состав приведен в табл. 5. Фото в BSE.

и практически нет Cu. По-видимому, это объясняется отсутствием в рассматриваемых техногенных месторождениях минералов меди.

Золото «*in situ*» на поверхности образцов выявлено как низкопробное, так и практически химически чистое. Состав новообразованного





**Фиг. 11.** Новообразованное высокопробное губчатое, тонкопластинчатое и глобулярное самородное золото (сп. 1–3, 5–7), с отложившимся на поверхности аутигенным англезитом (сп. 4). Состав приведен в табл. 5. Фото в BSE.

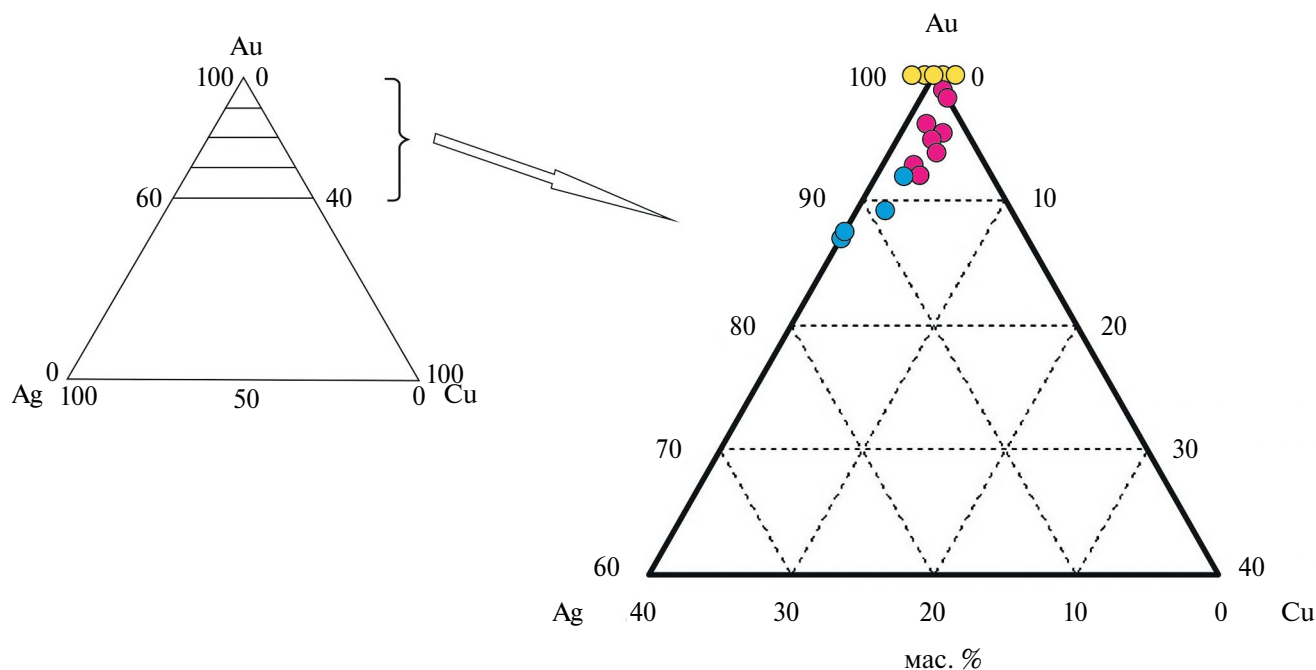
золота широко варьирует (фиг. 14), установлены Au-Hg, Hg-Au-Ag, Au-Hg-Pb, Au-Hg-Pb-Ag, Au-Pb и Au фазы. Новое золото, представленное Au-Hg комплексами, не только покрывает поверхность образцов, но и цементирует различные золотины в единый агрегат (фиг. 8, 9).

Почти во всех спектрах содержится углерод (от 4.55 до 17.28%) (табл. 4, 5). Он может находиться как в межзерновых пространствах, так и в атомно-кристаллической структуре самого золота (Сафронов и др., 2023). Наличие спектра кислорода, вероятно, объясняется его связью с углеродом. Присутствие азота и фосфора, в комплексе с углеродом, указывает на органическое происхождение последнего. Золото, свинец и ртуть в том или ином количестве установлены не только

в составе золота, но и в минеральной смеси, ассоциирующей с аутигенным Au. Вероятно, осадочные породы в силу своих высоких сорбционных свойств (обусловленных обилием глинистых минералов, имеющих развитую поверхность с отрицательным зарядом) хорошо адсорбировали из дренирующих растворов вышеуказанные элементы (Kalinin et. al., 2019; Silyanov et. al., 2021).

Единого мнения об *образовании* аутигенного золота нет. В нашем случае, вероятно, имели место несколько процессов.

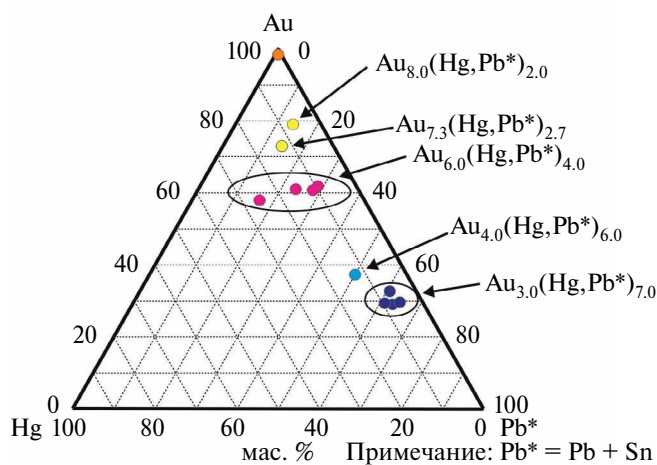
Разрушение минералов в процессе гипергенеза с высвобождением рудных элементов, переходом их в растворы и дальнейшим его осаждением (Craw, Kerr, 2017; Stewart et al., 2017; Росляков, 1981). Рыхлая вмещающая порода, хорошая



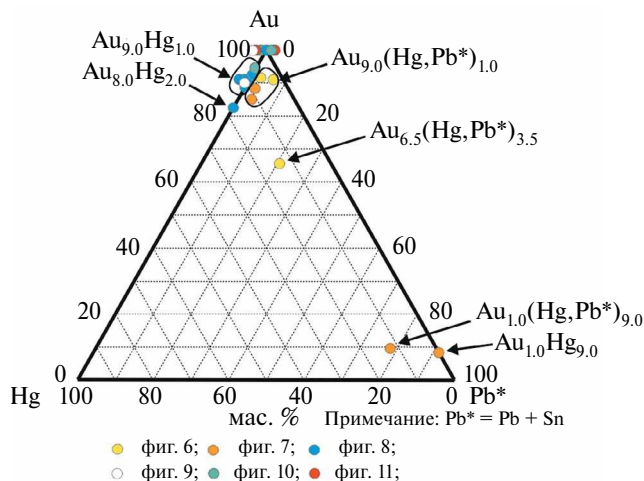
Состав аутигенного самородного золота КВ:

- химически чистое тонкопластинчатое (фиг. 3, спектры 1-5);
- ажурное, сформированное в КВ (фиг. 4, табл. 3);
- тонкопластинчатое, образованное на поверхности гипогенных золотин (фиг. 2, табл. 1).

**Фиг. 12.** Новообразованное высокопробное губчатое, тонкопластинчатое и глобулярное самородное золото (сп. 1–3, 5–7) с отложившимся на поверхности аутигенным англезитом (сп. 4). Состав приведен в табл. 5. Фото в BSE.



**Фиг. 13.** Диаграмма составов тонкого и ультратонкого самородного золота из техногенных россыпей НЗУ (фиг. 5, табл. 4) системы Au-Hg-Pb\* (где Pb\* = Pb + Sn). Приведены приближенные формулы составов интерметаллических соединений.



**Фиг. 14.** Диаграмма составов аутигенного золота техногенных россыпей системы Au-Hg-Pb\* (где Pb\* = Pb + Sn) (фиг. 6–11, табл. 5). Приведены приближенные формулы составов интерметаллических соединений.

водопроницаемость, сравнительная стабильность грунтовых вод, деструкция органического вещества, наличие сульфидов и окислов марганца, а также дисперсность золота в минеральном составе КВ и техногенных россыпей являются благоприятными условиями для миграции золота и образования отдельных участков обогащения (Смирнов, 1955). В качестве геохимических барьеров для осаждения золота служат новообразования свинца, ртути, меди, железа и др. (имеющие геохимическое сродство с Au), и прежде всего, конечно, само золото (Craw, 2017; Shuster, Southam, 2015; Кириллов и др., 2018; Сазонов и др., 2019; Kalinin et. al., 2018; Khusainova et. al., 2020; Tolstykh et. al., 2019). Высокую пробу аутигенного золота можно объяснить как очищением в результате электрохимического выщелачивания (Росляков, 1981; Fon et. al., 2021), так и более поздним формированием химически чистого Au (Калинин и др., 2009; 2022; Новгородова и др., 1995; Осовецкий, 2012; Hough et al., 2008).

Повсеместное присутствие углерода в веществе создает восстановительные условия, способствующие отложению и концентрированию самородного золота (Амосов и др., 1997; Сафронов, Кузнецова, 2021; Моисеенко, Кузнецова, 2014, Xianhai et al., 2018; Dunn et al., 2019; Hastie et. al., 2021). Наличие характеристических линий азота и фосфора в спектрах, высокая проба Au и его морфологические особенности могут указывать на биогенное происхождение аутигенного золота (Амосов, Васин, 1993; Куимова, Моисеенко, 2006; Коробушкина, Коробушкин, 1986; Маракушев, 1997; Southam et al., 2009; Reith et al., 2010; Rea et al., 2016; Shuster et al., 2016, 2017; Zammit et al., 2015; Anand et al., 2017; Fairbrother et al., 2012; Shuster et al., 2016; Southam et al., 2009; Xianhai et al., 2018; Petrella et al., 2022).

Нужно особо отметить факт установления редкой морфологической формы нового золота – нитевидной (фиг. 9). Склонность самородного золота к формированию нитевидных форм давно замечена исследователями (Майорова и др., 2011; Fairbrother et al., 2012). Проводились успешные опыты по экспериментальному выращиванию золотых нитей (Надгорный и др., 1959). По-видимому, при определенных физико-химических условиях и благоприятной геологической обстановке энергетически выгодно из поступающих из раствора атомов Au строить округло-удлиненную (нитевидную) структуру за счет направленного роста.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новообразованное самородное золото варьирующих форм, размеров и состава, установлено в коре выветривания и техногенных россыпях Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья. Аутигенное золото присутствует как в агрегатах алюмосиликатных минералов, непосредственно ассоциирующих с зернами первичного золота, так и на их поверхности.

Несмотря на различный химический состав аутигенного золота в корях выветривания и в техногенных россыпях, механизм формирования новообразованного Au, видимо, аналогичен. В процессе преобразований происходит разложение минералов-концентраторов Au, таких как теллуриды, золотосодержащие сульфиды и сульфоарсениды, дальнейшее осаждение Au на геохимических барьерах и образование новых форм благородного металла, от ультратонкого до микроразмерного.

Геохимическими барьерами для осаждения золота являются атомы углерода присутствующие в агрегатах алюмосиликатных минералов, а также частицы новообразованных ультратонких кластеров металлов – самородного золота, ртути, свинца, меди, олова и их соединений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы подчеркивают неоценимый вклад в изучение самородного золота академика РАН Валентина Григорьевича Моисеенко. Также выражают признательность рецензентам и членам редакционной коллегии за ценные замечания в ходе подготовки статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альбов М.Н. Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала. М.: Геоиздат, 1980. 68 с.
- Амосов Р.А., Васин С.Л. Золотые микрофоссилии // Руды и металлы. 1993. № 3. С. 101–107.
- Амосов Р.А., Парий А.С., Васин С.Л., Щегольков А.И. Самородное золото из техногенных россыпей Октябрьского узла // Руды и металлы. 1997. № 4. С. 56–57.
- Баранников А.Г., Осовецкий Б.М. Морфологические разновидности и нанорельеф поверхности самородного золота разновозрастных россыпей Урала // Литосфера. 2013. № 3. С. 89–105.
- Геологическая карта Амурской области. Масштаб 1 : 500000 (ГК-500). Объяснительная записка.

- Петрук Н.Н., Белякова Т.В., Дербек И.М., и др. Благовещенск: ООО «Амургеология», 2001. 221 с.
- Гамянин Г.Н., Жданов Ю.Я., Некрасов И.Я., Леснова Н.В. «Горчичное» золото из золото-сурьмяных руд Восточной Якутии // Новые данные о минералах. 1987. № 34. С. 13–20.
- Калинин Ю.А., Ковалев К.Р., Наумов Е.А., Кириллов М.В. Золото коры выветривания Суздальского месторождения (Казахстан) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 241–257.
- Калинин Ю.А., Кужугет Р.В., Хусаинова А.Ш., Гаськова О.Л., Бутанаев Ю.В. Эволюция золота в зоне окисления месторождения Копто (Республика Тува, Россия) // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 7. С. 956–970. DOI: 10.15372/GiG2021162
- Кириллов М.В., Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Шевко Е.П. Аутигенное золото в лежалых хвостах цианирования золото-сульфидно-кварцевых руд (Комсомольский ЗИЗ, Кемеровская область) // Доклады РАН. 2018. Т. 481. № 6. С. 658–661.
- Куимова Н.Г., Моисеенко В.Г. Биогенная минерализация золота в природе и эксперименте // Литосфера. 2006. № 3. С. 83–95.
- Кузнецова И.В. Геология, тонкодисперсное и наноразмерное золото в минералах россыпей Нижнеселемджинского узла (Приамурье). Автореф. ... канд. геол.-мин. наук. Красноярск: СФУ, 2011. 21 с.
- Кузнецова И.В., Сафронов П.П., Моисеенко Н.В. Вещественно-минеральная характеристика техногенных россыпей – потенциальных источников благородного металла (на примере Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья, Россия) // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 1. С. 2–14. DOI: 10.18599/grs.2019.1.2-14.
- Кузнецова И.В., Сафронов П.П. Самородное золото кор выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла (Приамурье) // Литосфера. 2021. Т. 21, № 2. С. 239–255. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-2-239-255>.
- Кузнецова И.В., Дементьенко А.И. О микро- и наноразмерном золоте в корях выветривания золотоносных территорий (на примере участка минерализации в бассейне р. Адамиха, Приамурье) // Георесурсы. 2023. Т. 25. № 3. С. 191–197.
- Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии. М.: МГГУ, 2002. 303 с.
- Коробушкина Е.Д., Коробушкин И.М. Взаимодействие золота с бактериями и образование «нового» золота // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287. № 4. С. 978–980.
- Литвиненко И.С., Шилина Л.А. Гипергенные новообразования золота из россыпных месторождений Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля, Северо-Восток России // Руды и металлы. 2017. № 1. С. 75–90.
- Маракушев С.А. Геомикробиология и биохимия трансформации золота. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Москва, 1997. 47 с.
- Мельников В.Д., Полеванов В.П. Золотоносные районы и узлы Амурской области // Геология и минеральные ресурсы Амурской области. Благовещенск: Амургеолком, 1995. С. 121–127.
- Майорова Т.П., Артеева Т.А., Филиппов В.Н. Нитевидные кристаллы и сферические частицы самородного золота рудопоявления Нияхойское-2 (Манитанырд, Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 5 (173). С. 11–13.
- Моисеенко В.Г. От атомов золота через кластеры, нано- и микроскопические частицы до самородков благородного металла. Благовещенск: ДВО РАН. Амурское отделение РМО, 2007. 187 с.
- Моисеенко В.Г., Моисеенко Н.В. Концентрация наноминералов золота в процессе образования руд Покровского месторождения // Докл. РАН. 2012. Т. 444. № 1. С. 73–76.
- Моисеенко В.Г., Кузнецова И.В. Нанозолото в древних известняках и доломитах Октябрьского рудного поля (Приамурье) // Докл. РАН. 2014. Т. 456, № 4. С. 468–471.
- Надгорный Э.М., Осипьян Ю.А., Перкас М.Д., Розенберг В.М. Нитевидные кристаллы с прочностью, близкой к теоретической // Успехи физических наук. 1959. Т. 67. С. 625–662.
- Наумов В.А., Наумова О.Б. Преобразование золота в техногенных россыпях // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 531–532.
- Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений // М.: Наука, 1991. 302 с.
- Неронский Г.И., Сафронов П.П. и др. «Новое» золото в россыпях Приамурья // Глубинное строение Тихого океана и его континентального обрамления. Ч. 3. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН СССР, 1988. С. 55–56.
- Новгородова М.И., Генералов М.Е., Грубкин Н.В. Новое золото в корях выветривания Южного Урала (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 1. С. 40–253.
- Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А. Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 11. С. 1514–1534.
- Николаева Л.А. «Новое» золото в россыпях Ленского района // Труды ЦНИГРИ. Вып. 25, кн. 2. М., 1958. С. 19–122.

- Осовецкий Б.М. Наноскульптура поверхности золота. Пермь: Пермский госуниверситет, 2012. 232 с.
- Петровская Н.В. Морфология и структура «нового» золота. Доклады академии наук СССР. 1941. Т. 32 № 6. С. 424–426.
- Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
- Петровская Н.В., Яблокова С.В. Золото в корях выветривания. Рудоносные коры выветривания. М.: Наука, 1974. С. 173–182.
- Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 1981. 228 с.
- Сазонов А.М., Звягина Е.А., Сильянов С.А., Лобанов К.В., Леонтьев С.И., Калинин Ю.А., Савичев А.А., Тишин П.А. Рудогенез месторождения золота Олимпиада (Енисейский край, Россия) // Геосферные исследования. 2019. № 1. С. 17–44.
- Сазонов А.М., Звягина Е.А., Сильянов С.А., Бабенков Д.Е. Изучение форм нахождения золота в рудах и хвостах ЗИФ Олимпиаденского ГОКа // Горный журнал. 2019. № 4, С. 54–59. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.04.12>.
- Сафронов П.П. Способ проведения на SEM с EDX-спектрометрией приближенно количественных рентгеноспектральных измерений состава наноразмерных минеральных фаз / VII Всероссийская конференция по рентгеноспектральному анализу. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 71.
- Сафронов П.П., Кузнецова И.В. Особенности состава самородного золота техногенных россыпей на примере Нижнеселенгинского золотоносного узла (Приамурье) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 2. С. 46–58.
- Сафронов П.П., Кузнецова И.В. Аутигенное минералообразование как объективный фактор трансформации техногенных россыпей // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. Т. 47. № 3. С. 83–93. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2021-3-83-93>.
- Сафронов П.П., Кузнецова И.В., Максимов С.О. Углеродистое вещество в рудно-россыпных системах с благороднометаллической минерализацией // Вестник ДВО РАН. 2023. № 5. С. 52–81.
- Сафронов П.П. О происхождении наноразмерного золота в природе // Геологические процессы в обстановке субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием (19–22 сентября 2023 г., Владивосток). Изд-во ДВФУ, Владивосток. ДВГИ ДВО РАН. 2023. С. 442–446.
- Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. Москва: Изд-во АН СССР, 1955. 131 с.
- Сокерин М.Ю., Глухов Ю.В., Макеев Б.А., Пархачева К.Г., Салдин В.А., Симакова Ю.С., Сокерина Н.В. Типоморфизм аутигенного золота рифейских песчанников Кыввожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда, средний Тиман) // Записки Российского минералогического общества. 2023. Т. 152. № 1. С. 50–60.
- Хазов А.Ф., Силаев В.И., Филипов В.Н. Аутигенная минерализация в речных россыпях как природный научный феномен // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 2. С. 54–60.
- Хусаинова А.Ш., Гаськова О.Л., Калинин Ю.А., Бортникова С.Б. Физико-химическая модель преобразования золота в продуктах переработки руд колчеданно-полиметаллических месторождений (Салаирский край, Россия) // Геология и геофизика. 2020. Т. 61 № 9. С. 1181–1193. <https://doi.org/10.15372/GiG2020120>
- Хусаинова А.Ш., Калинин Ю.А., Гаськова О.Л., Бортникова С.Б. Типоморфная характеристика золота из хвостохранилищ колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири // Георесурсы. 2021. Вып. 3. Т. 23. С. 149–163.
- Яблокова С.В. Образование «нового» золота в некоторых россыпях Южной Якутии. Геология россыпей. М.: Наука, 1965. С. 152–155.
- Anand R., Lintern M., Hough R., Noble R., Verrall M., Salama W., Balkau J., Radford N. The dynamics of gold in regolith change with differing environmental conditions over time // Geology. 2017. V. 45. № 2. P. 127–130.
- Anand R., Salama W. Gold dispersion in transported cover sequences especially in chemical (palaeoredox front) and physical (unconformity) interfaces linked to the landscape history of Western Australia // Explore: The Newsletter for the Association of Applied Geochemists. 2019. V. 183. P. 1–40.
- Dunn S., Von der Heyden B., Rozendaal A., Taljaard R. Secondary gold mineralization in the Amani Placer Gold Deposit, Tanzania // Ore Geology Reviews. 2019. V. 107. P. 87–107. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.011>.
- Craw D. Placer gold and associated supergene mineralogy at Macraes flat, east Otago, New Zealand // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 2017. V. 60, N 4, P. 353–367. <https://doi.org/10.1080/00288306.2017.1337644>.
- Craw D., Kerr G. Geochemistry and mineralogy of contrasting supergene gold alteration zones, southern New Zealand // Applied Geochemistry. 2017. V. 85 (A). P. 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.08.005>
- Fairbrother L., Brugger J., Shapter J., Laird J.S., Southam G., Reith F. Supergene gold transformation: Biogenic



- secondary and nano-particulate gold from arid Australia // *Chemical Geology*. 2012. V. 320–321. № 8. P. 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.05.025>
- Fon A.N., Suh C.E., Vishiti A., Ngatcha R.B., Terence Cho Ngang, Shemang E.M., Egbe J.A., Lehmann B. Gold dispersion in tropical weathering profiles at the Belikombone gold anomaly (Bétaré Oya gold district), east Cameroon // *Geochemistry*. 2021. V. 81, № 4. P. 125770. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2021.125770>.
- Myagkaya I.N., Lazareva, E.V., Zaikovskii V.I., Zhmodik S.M. Interaction of natural organic matter with acid mine drainage: Authigenic mineralization (case study of Ursk sulfide tailings, Kemerovo region, Russia) // *Journal of Geochemical Exploration*. 2020. V. 211. №3–4. 106456. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106456>
- Hastie E.C.G., Schindler M., Kontak D.J., Lafrance B. Transport and coarsening of gold nanoparticles in an orogenic deposit by dissolution–reprecipitation and Ostwald ripening // *Commun Earth Environ*. 2021. V. 2. P. 57. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00126-6>.
- Hough R.M., Noble R.R.P., Hitchen G.J., Hart R., Reddy S.M., Saunders M., Clode P., Vaughan D., Lowe J., Gray D.J., Anand R.R., Butt C.R.M., Verrall M. Naturally occurring gold nanoparticles and nanoplates // *Geology*. 2008. V. 36. № 7. P. 571–574. <https://doi.org/10.1130/g24749a.1>.
- Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. Natural gold nanoparticles // *Ore Geology Reviews*. 2011. V. 42. P. 55–61.
- Kalinin Y.A., Palyanova G.A., Bortnikov N.S., Naumov E.A., Kovalev K.R. Aggregation and differentiation of gold and silver during the formation of the gold bearing regolith (on the example of Kazakhstan deposits) // *Doklady Earth Sciences*. 2018. V. 482. P. 1193–1198. <https://doi.org/10.31857/S086956520003198-0>.
- Kalinin Y.A., Palyanova G.A., Naumov E.A., Kovalev K.R., Pirajno F. Supergene remobilization of Au in Au-bearing regolith related to orogenic deposits: A case study from Kazakhstan // *Ore Geology Reviews*. 2019. V. 109. P. 358–369. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.019>.
- Khusainova A.S., Gaskova O.L., Kalinin Y.A., Bortnikova S.B. Physical-chemical model of gold conversion in products of ore processing of silver-polymetallic deposits (Salair Ridge, Russia) // *Russian Geology and Geophysics*. 2020. V. 61. № 9. P. 964–975. <https://doi.org/10.15372/GiG2020120>.
- Petrella L., Thébaud N., Fougereuse D., Tattitch B., Martin L., Turner S., Suvorova A., Gain S. Nanoparticle suspensions from carbon-rich fluid make high-grade gold deposits // *Nature Communications*. 2022. V. 13(1), № 3795. P. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31447-5>.
- Silyanov S.A., Sazonov A.M., Zvyagina Y.A., Savichev A.A., Lobastov B.M. Gold in the Oxidized Ores of the Olympiada Deposit (Eastern Siberia, Russia) // *Minerals*. 2021. V. 11. P. 190. <https://doi.org/10.3390/min11020190>.
- Southam G., Lengke M.F., Fairbrother L., Reith F. The biogeochemistry of gold // *Elements*. 2009. № 5. P. 303–307.
- Shuster J., Lengke M., Marquez-Zavalia M., Southam G. Floating Gold Grains and Nanophase Particles Produced from the Biogeochemical Weathering of a Gold-Bearing Ore // *Economic Geology*. 2016. V. 111. № 6. P. 1485–1494. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.6.1485>.
- Shuster J., Reith F., John G.C., John E.P., Southam M.P.G. Secondary gold structures: Relics of past biogeochemical transformations and implications for colloidal gold dispersion in subtropical environments // *Chemical Geology*. 2017. V. 450. № 5. P. 154–164.
- Shuster J., Southam G. The in-vitro «growth» of gold grains // *Geology*. 2015. V. 43. P. 79–82.
- Stewart J., Kerr G., Prior D., Craw D. Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits // *Ore Geology Reviews*. 2017. V. 88. P. 173. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.04.020>.
- Tolstykh N.D., Palyanova G.A., Bobrova O.V., Sidorov E.G. Mustard Gold of the Gaching Ore Deposit (Maletoyvayam Ore Field, Kamchatka, Russia) // *Minerals*. 2019. V. 9. P. 489. <https://doi.org/10.3390/min9080489>.
- Vishiti A., Suha C.E., Lehmann B., Egbe J.A., Shemang E.M. Gold grade variation and particle microchemistry in exploration pits of the Batouri gold district, SE Cameroon // *Journal of African Earth Sciences*. 2015. V. 111. P. 1–13. <https://doi.org/10.3390/min8100425>.
- Zammit C., Shuster J., Gagen E., Southam G. The geomicrobiology of supergene metal deposits // *Elements*. 2015. V. 11. № 5. P. 337–342. <https://doi.org/10.2113/gselements.11.5.337>
- Rea M.A., Zammit C.M., Reith F. Bacterial biofilms on gold grains-implications for geomicrobial transformations of gold // *FEMS Microbiology Ecology*. 2016. V. 92. № 6. P. 1–12.
- Reith F., Fairbrother L., Nolze G., Wilhelm O., Clode P.L., Gregg A., Parsons J.E., Wakelin S.A., Pring A., Hough R., Southam G., Brugger J. Nanoparticle factories: Biofilms hold the key to gold dispersion and nugget formation // *Geology*. 2010. V. 38. P. 843–846.
- Xianhai Li, Zhang Qin, Jun Xie, Zhihui Shen. [Au(CN)<sub>2</sub>] – Adsorption on a Graphite (0001) Surface: A First Principles Study // *Minerals*. 2018. V. 8. № 10. P. 425. <https://doi.org/10.3390/min8100425>.

## «NEW» GOLD IN WEATHERING CRUSTS AND TECHNOGENIC PLACERS NIZHNESELEMDZHINSKY GOLD-BEARING NODES (AMUR REGION)

I. V. Kuznetsova<sup>a, \*</sup>, P. P. Safronov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geology and Natural Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveschensk, Russia*

<sup>b</sup>*Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

It was established that in the weathering crust and technogenic placers of the Lower Zelemdzhinsky gold-bearing node of the Amur region, newly formed native gold is present both in the rock matrix associated directly with Au and on the surface of noble metal grains. In the weathering crust, film and isometric Au was found, deposited on the surface of native gold samples. And porous, formed directly on the weathering crust by filling the free space of the containing loose rocks. The composition of authigenic gold is Au-Ag-Cu, Au-Cu and a chemically pure, noble metal (1000‰). In man-made placers, film, spheroid, dendroid, filamentous, worm-like, globular and spongy newly formed gold is installed. Particle size from 600–1000 nanometers to  $\leq 50$  nm. The composition of gold is from multicomponent (Pb-Au-Hg-Sn), (Au-Pb-Hg-Ag), (Au-Pb-Hg), (Au-Hg-Ag), (Au-Hg) to chemically pure Au. Despite the different composition, the mechanism of formation of the newly formed Au in nature (weathering) and man-made objects (placer dumps) is apparently similar. In the process of hypergenic transformations, the Au concentrator minerals decompose, the release of metal particles and their further precipitation. Geochemical barriers to noble metal deposition and concentration are the sorption properties of the host rock, as well as particles of newly formed ultra-thin clusters of native gold, mercury, lead, copper, tin and their compounds. The reducing agent is organic/inorganic carbon.

**Keywords:** newly formed, new, authigenic, "*in situ*" gold, fine gold, native metals, metasomatic rock-matrix, hypergenesis, weathering bark, technogenic placers of gold